



بهسازی خاک های لسی با استفاده از پودر آلزینات سدیم، مطالعه موردی، شهر فراغی در استان گلستان

مجتبی حیدری (نویسنده مسئول)^۱، امیر کریمی آرا^۲

^۱ دانشگاه بوعلی سینا، همدان moj.heidari@basu.ac.ir

^۲ دانشگاه بوعلی سینا، همدان amir2010.sweden@gmail.com

چکیده

خاکهای لسی پوشش اصلی منطقه شمال کلاله در استان گلستان را تشکیل داده و باعث تخریب وسیع پروژه های راه، پل و نشست نامتقارن و غیر مجاز ساختمانهای مسکونی و همچنین وقوع فراوان گالی ها و فروچاله ها، از خاک های لسی منطقه فراغی شهرستان کلاله نمونه برداری شده است. با افزودن پودر آلزینات سدیم برخی از خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی این خاکها قبل و بعد از بهسازی مقایسه شده است. پودر آلزینات سدیم به مقدار ۱، ۲، ۳ و ۴ درصد وزنی خشک و با زمان های عمل آوری ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه به خاک پایه افزوده شده است و تغییرات برخی از خواص ژئوتکنیکی آنها بررسی شده است. نتایج مطالعات نشان داد که با افزودن پودر آلزینات سدیم، حدود روانی و خمیری خاک و در نتیجه خاصیت چسبندگی خاک افزایش یافته و اندازه دانه ها خاک بزرگتر شده است و همچنین مقاومت فشاری محصور نشده خاک افزایش یافته و پتانسیل رمبندگی خاک کاهش می یابد. برای بیشترین مقادیر مقاومت فشاری تک محوری و کمترین پتانسیل رمبندگی، مقدار درصد وزنی بهینه پودر آلزینات سدیم ۳٪، در زمان عمل آوری ۲۸ روزه بدست آمده است.

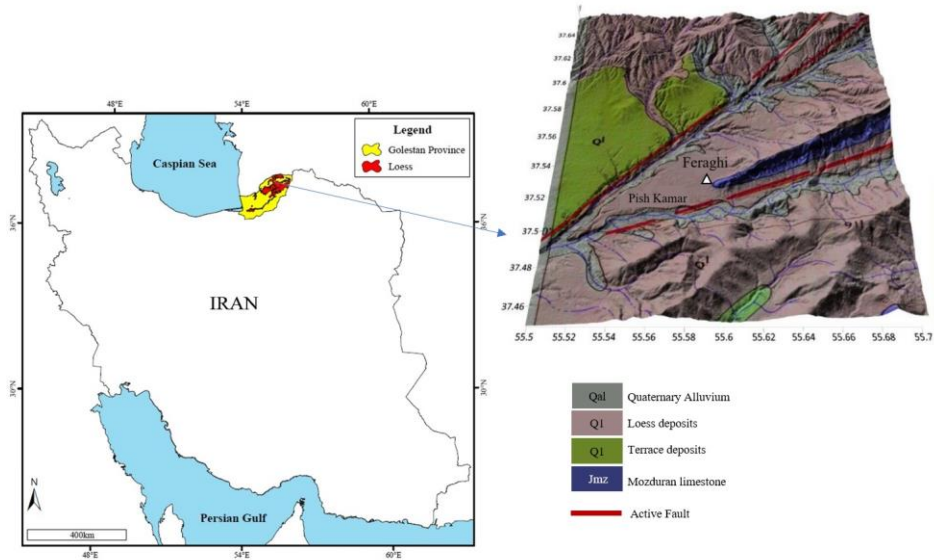
واژه های کلیدی

لس، فراغی، بهسازی خاک، رمبندگی خاک، آلزینات سدیم.



۱. مقدمه

لسه‌های تشکیل یافته تحت شرایط آب و هوایی خشک و نیمه خشک مستعد ریزندگی (کاهش حجم قابل ملاحظه) در هنگام مرطوب شدن هستند. در شمال شرق استان گلستان در شهر فراغی از توابع بخش پیشکمر شهرستان کلالة (شکل ۱) به دلایل بارندگی، آبیاری و نشت فاضلاب از چاه‌های جذبی ریزندگی خاک‌های لسی رخ داده و در نتیجه باعث نشست نامتقارن و غیر مجاز ساختمانهای مسکونی و همچنین وقوع فراوان گالی‌ها و فروچاله‌ها و ترک خوردن زمین شده است (شکل ۲).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه



شکل ۲. نشست نامتقارن ساختمانهای مسکونی و ترک خوردن زمین در منطقه مورد مطالعه



شکل ۳. تهیه نمونه های بلوکی از خاکهای لسی

محققان زیادی در مورد تثبیت خاکهای رمبنده استان گلستان با آهک [۷] و [۳]، آهک و خاکستر بادی، سیمان [۵] و [۶]، آهک و الباف شیشه ای [۲]، آهک و سیمان پرتلند [۸]، خاک تثبیت شده با آهک و خاکستر بادی [۱۱] مطالعه کرده اند. استفاده از بایو پلیمرها در تثبیت خاکهای رمبنده [۹] و [۱۰]، استفاده از مصالح نانو سیلیکا [۴]، استفاده از نانو سیلیس [۱] از جمله مطالعات بهسازی خاکهای لسی بوده است. در تحقیقی دیگری ژائو [۱۲] تاثیر پودر آلژینات سدیم بر روی خواص اساسی فیزیکی- مکانیکی لس های فلات چین بررسی کرده است. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از ماده افزودنی آلژینات سدیم می تواند جایگزین مناسبی برای روشهای بهسازی مرسوم همچون استفاده از سیمان و آهک باشد. بهسازی با آلژینات سدیم از نظر زیست محیطی در مقایسه با آهک و سیمان مناسب تر می باشد.

در این تحقیق با انجام بازدیدهای صحرایی و نمونه برداری دست نخورده از خاکهای لسی شهر فراغی واقع در شمال شرق استان گلستان برخی از خواص فیزیکی و مکانیکی خاک پایه تعیین شده است. همچنین با اختلاط نسبت درصدهای مختلف پودر آلژینات سدیم با خاکهای پایه لسی، برخی ویژگیهای فیزیکی و مکانیکی آنها مانند حدود آتربرگ، شاخص رمبندگی، مقاومت فشاری تک محوری در زمان های مختلف عمل آوری بررسی شده است.

۲. مواد و روشها

نمونه های استفاده شده در این تحقیق به صورت دست نخورده بلوکی از دیواره های خاک های لسی شهر فراغی واقع در شمال شرق استان گلستان، در ۲۵ کیلومتری شهرستان کلالة و در مختصات ۵۵ درجه ۵۹ دقیقه و ۴۳ ثانیه طول جغرافیایی و ۳۷ درجه و ۵۲ دقیقه و ۵۵ ثانیه عرض جغرافیایی برداشت شده است. نمونه ها جمع آوری شده است (شکل ۳). به منظور ارزیابی ویژگیهای فیزیکی و مکانیکی نمونه های اخذ شده آزمایش های آزمایشگاهی بر اساس استاندارد های ASTM انجام شده است. برای تعیین وزن واحد حجم صحرایی خاک از روش مخروط ماسه استفاده شده است. آزمایش های آزمایشگاهی شامل آزمایش های دانه بندی مکانیکی، هیدرومتری، آزمون تراکم استاندارد، وزن مخصوص خاک، حد روانی، حد خمیری، مقاومت فشاری تک محوری و آزمون تحکیم منفرد قبل و بعد از اختلاط انجام شده است. برای بهسازی خاک های لسی از پودر آلژینات سدیم استفاده شده است. آلژینات سدیم معمولا بعنوان یک قوام دهنده، یک تثبیت کننده و یک امولسی فایر استفاده می شود. آلژینات سدیم به منظور تشکیل هیدروژل با یک ساختار شبکه ای عرضی می تواند واکنش انجام دهد. تحت شرایط ایستا، یک مقدار ناچیزی از آلژینات سدیم می تواند چسبندگی آب را بطور قابل توجهی افزایش داده و



هیدروژل بوجود آمده از واکنش با آب می تواند باعث افزایش چسبندگی شود. آنیون آلزینات می تواند تحت واکنش های تبادل یونی با کاتیون های دوظرفیتی ژله ای قوی تر و سریعتری تولید کند.

در ابتدا نمونه خاک به مدت ۲۴ ساعت تحت دمای ۵۰ درجه سانتی گراد در گرمخانه قرار داده شد تا کاملا خشک شود. این کار باعث می شود ماده افزودنی با خاک بصورت همگن مخلوط شوند. سپس آلزینات سدیم با نسبت وزنی ۱، ۲، ۳ و ۴ درصد به خاک خشک اضافه شده است. نحوه آماده سازی نمونه ها در شکل (۴) نشان داده شده است.

در مرحله بعد رطوبت خاک تا حد رطوبت بهینه اضافه شده است و نمونه های خاک در دانسیته ای معادل دانسیته صحرايي، ریمولد شده اند. سپس نمونه های آماده شده برای حفظ دما و رطوبت ثابت به دسیکاتور انتقال داده شدند. نمونه ها پس از گذشت ۷، ۱۴ و ۲۸ روز از دسیکاتور خارج شده و برخی آزمونهای فیزیکی و مکانیکی بر روی آنها انجام شده است. در آزمایش تحکیم منفرد در ابتدا نمونه های با استفاده از کوبش (در سه لایه) در داخل رینگ تحکیم آماده شدند و نمونه خاک در حالت غیر اشباع در سه گام افزایشی، تحت تنشهای ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلو پاسکال قرار گرفته اند. سپس نمونه ها در تنش ثابت ۲۰۰ کیلو پاسکال، اشباع شده و مقدار ضریب رمبندگی خاک از رابطه (۱) بدست آمده است.

$$IC = \frac{\Delta e}{1 + e_0} \quad (1)$$

که در این رابطه Δe تغییرات نسبت پوکی برای بارگذاری ۲۰۰ کیلو پاسکال پس از ۲۴ ساعت از اشباع شدن و e_0 نسبت پوکی اولیه خاک می باشد.

آزمایش تحکیم منفرد برای نمونه هایی با مقادیر آلزینات ۱، ۲، ۳ و ۴ درصد، برای زمان های عمل آوری ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه انجام شده است. در آزمایش مقاومت فشاری ساده تک محوری نیز نمونه ها با همان مقادیر ۱، ۲، ۳ و ۴ درصد وزنی و در زمان های عمل آوری ذکر شده در بالا و رطوبت بهینه ۱۷ درصد آماده شده است.



شکل ۴. نحوه آماده سازی نمونه های خاک در آزمایشگاه



۳. نتایج

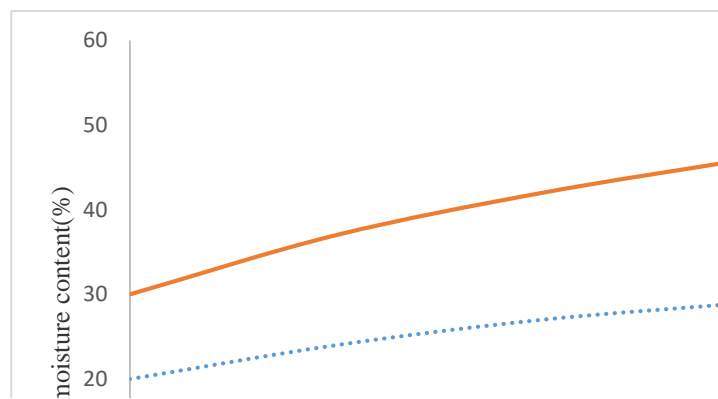
۱.۳. نتایج بررسی خواص فیزیکی خاکها

نتایج برخی از خواص فیزیکی خاک پایه در جدول (۱) نشان داده شده است. نتایج دانه بندی و هیدرومتری نشان می دهد که حدود ۹۷٪ ذرات خاکها از سیلت و رس تشکیل شده اند و ۳ تا ۴ درصد ذرات ماسه ای می باشد. بر اساس طبقه بندی یونیفاید، نمونه خاک در رده (ML) قرار دارد.

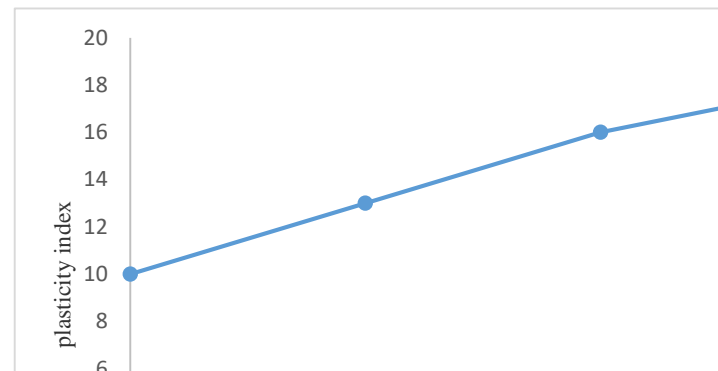
جدول ۱. محدوده تغییرات مقادیر برخی از خواص فیزیکی خاک لس پایه

ماسه	سیلت	رس	نسبت پوکی	وزن مخصوص	رطوبت بهینه	حد روانی	حد خمیری	شاخص خمیری	وزن واحد حجم خشک حداکثر (KN/m ³)
%	%	%			%	%	%	%	
۳-۴	۷۱-۷۵	۲۱-۲۶	۰/۷۱-۰/۷۶	۲/۶۷	۱۵/۸-۱۷/۷	۲۸-۳۲	۱۷-۲۳	۹-۱۳	۱۷/۳-۱۷/۵

شکل (۵) نشان می دهد با افزایش مقدار آلژینات سدیم مقادیر حدود خمیری و روانی افزایش می یابند. نرخ افزایش حد روانی در ابتدا (در درصد های کم آلژینات سدیم) زیادتر بوده و در درصد های بیشتر آلژینات سدیم، افزایش کمتری دارد. حد خمیری دارای نرخ افزایش کمتری نسبت به حد روانی است و شیب نمودار نیز کمتر است و نشانگر آن است که بعد از افزایش درصد خاصی از آلژینات سدیم افزایش حدود روانی و خمیری افزایش چندانی نخواهند داشت. حد خمیری از مقدار اولیه ۲۰ درصد به مقدار ۳۱ درصد برای نمونه با ۴ درصد آلژینات سدیم افزایش می کند و حد روانی نیز از مقدار ۳۰ درصد اولیه به عدد ۵۰ درصد برای نمونه با ۴ درصد آلژینات سدیم تغییر می کند. همچنین تغییرات شاخص خمیری همانند حدود خمیری و روانی افزایشی است (شکل ۶). همانگونه که در این شکل مشاهده می شود با افزایش نسبت وزنی آلژینات سدیم نرخ رشد شاخص خمیری نیز افزایش می یابد و در نتیجه چسبندگی خاک نیز افزایش می یابد.



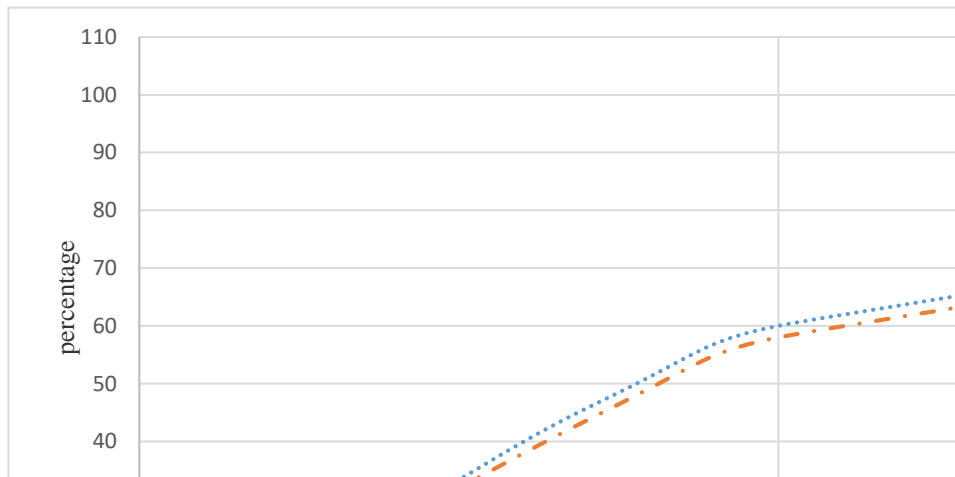
شکل ۵. تغییرات حدود روانی و خمیری برای نمونه های خاک با مقادیر مختلف آلژینات سدیم



شکل ۶. تغییرات شاخص خمیری برای نمونه های خاک با مقادیر مختلف آلژینات سدیم



نتایج آزمون دانه بندی مکانیکی و هیدرومتری نشان داد که با افزایش درصد آلژینات سدیم همانگونه که در شکل (۷) نشان داده شده بیانگر تغییر اندک دانه بندی خاک از ریزدانه به سمت درشت دانه می باشد. بدیهی است تراکم خاکهای درشت دانه تر در عملیات بهسازی صحرائی با سهولت بیشتری انجام می شود.



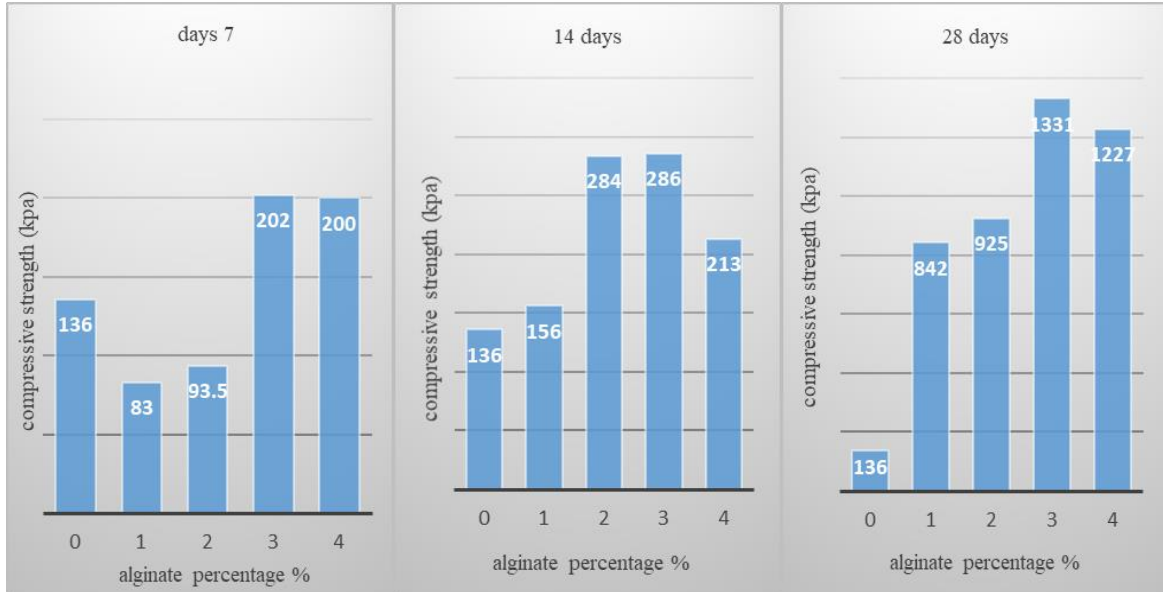
شکل ۷- تغییرات منحنی دانه بندی پس از اصلاح با آلژینات سدیم

۲.۳. نتایج بررسی خواص مکانیکی خاکها

برای بررسی رفتار خاکهای لسی با درصد متفاوت پودر آلژینات سدیم، تعداد ۱۲ آزمایش مقاومت فشاری تک محوری بر روی نمونه های آماده شده با درصدهای ۱٪، ۲٪، ۳٪، ۴٪ آلژینات سدیم، در زمان های عمل آوری ۱۴.۷ و ۲۸ روزه انجام شد. همچنین یک آزمایش نیز بر روی نمونه خاک پایه بازسازی شده، بدون افزودنی و زمان عمل آوری ۲۴ ساعته انجام شد. تمامی نمونه ها با دانسیته خشک حداکثر و رطوبت بهینه ۱۷٪ بازسازی شده اند. شکل (۸) نمونه های گسیخته شده را در آزمونهای مقاومت فشاری تک محوری نشان می دهد. همانگونه که در شکل (۹) مشاهده می شود، با افزایش درصد آلژینات سدیم، مقاومت فشاری خاکهای لسی نیز افزایش یافته است. در نمونه خاک با ۳ درصد آلژینات سدیم و زمان عمل آوری ۲۸ روزه مقاومت خاک، به طور قابل توجهی (حدود ۱۰ برابر) افزایش می یابد و با افزایش درصد های بیشتر آلژینات سدیم، تغییری در افزایش مقاومت فشاری خاکها ندارد.



شکل ۸. نمونه های خاک با درصد متفاوت آلژینات سدیم، پس از گسیختگی، در آزمونهای مقاومت فشاری تک محوری

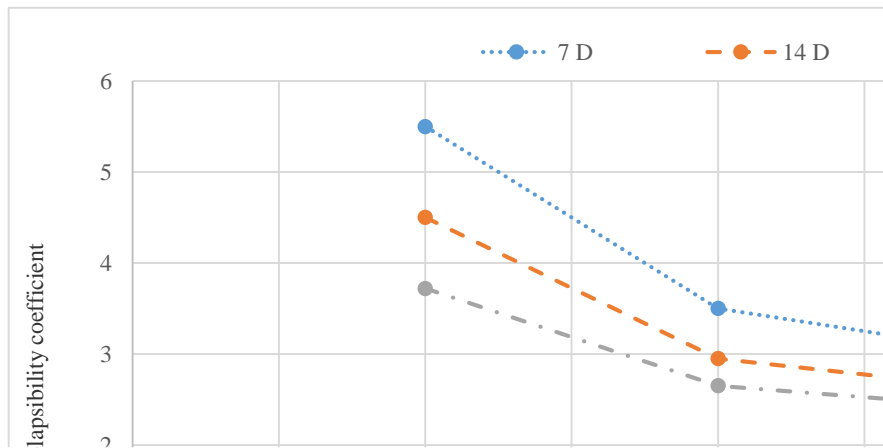


شکل ۹. تغییرات مقاومت فشاری تک محوری به ازاء تغییرات آلژینات سدیم در زمانهای متفاوت عمل آوری



شکل ۱۰. نمونه های خاک با درصدهای متفاوت آلژینات سدیم در آزمون تحکیم منفرد

در شکل ۱۰ نمونه های خاک آماده شده، در حین انجام آزمون تحکیم منفرد را نشان می دهد با استفاده از رابطه ۱ مقادیر ضریب رمبندگی خاکها با درصدهای متفاوت آلژینات سدیم و در زمانهای عمل آوری متفاوت محاسبه و در شکل ۱۱ نشان داده شده است. همانطور که در شکل (۱۱) نشان داده شده است با افزایش درصد آلژینات سدیم، مقدار ضریب رمبندگی کاهش می یابد. خاک لس با ۳ درصد آلژینات سدیم، با زمان عمل آوری ۲۸ روزه، کمترین ضریب رمبندگی را نشان می دهد بطوریکه ضریب رمبندگی خاک، بر اساس معیار ASTM از حالت شدیداً رمبنده به حالت خاک با رمبندگی متوسط و کم بهبود یافته است.



شکل ۱۱. تغییرات ضریب رمبندگی با افزایش درصدی پودر آلزینات سدیم

۴. نتیجه گیری

برای مطالعه اثر افزودن آلزینات سدیم بر بهبود رفتار فیزیکی و مکانیکی خاکهای لسی شهر فراغی واقع در شمال شرق استان گلستان نمونه هایی از خاک با درصدهای ۱، ۳ و ۴ درصد آلزینات سدیم آماده و بازسازی شد و در زمانهای ۷ عمل آوری ۱۴ و ۲۸ روزه برخی از آزمونهای فیزیکی و مکانیکی انجام شد و با رفتار خاکهای پایه مقایسه شد. نتایج بدست آمده به شرح ذیل است:

- با افزایش درصد آلزینات سدیم اندازه ذرات خاک به مقدار کمی افزایش یافته است.
- با افزایش درصد آلزینات سدیم شاخی خمیری خاکها افزایش می یابد.
- خاک لس با ۳ درصد آلزینات سدیم در زمان عمل آوری ۲۸ روزه بیشترین مقاومت فشاری تک محوری و کمترین پتانسیل رمبندگی را از خود نشان می دهد.

منابع

- [۱] بهنام ایرانپور، عبدالحسین حداد، ۱۳۹۷. بررسی افزودن سیلیس در ابعاد میکرو و نانو بر پتانسیل فروریزش خاک، سومین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران، تهران.
- [۲] امین جمشیدی، رسول یازرلو، امید مجیدی حسن آبادی، امین محمودی مقدم، ۱۳۹۸. بررسی خصوصیات ژئوتکنیکی خاک لس سیلتی تثبیت شده با آهک و الیاف شیشه. مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، دوره ۹۱، شماره ۲.
- [۳] سید محسن حائری، امیر اکبری گرکانی، حمیدرضا روح پرور، ۱۳۹۱. بررسی بهسازی بستر کانال های انتقال آب قرار گرفته بر روی خاکهای فروریزشی با افزایش آهک با انجام آزمایش ادمتر و مدلسازی عددی (مطالعه موردی خاک لس گرگان) سومین سمینار ملی مسائل ژئوتکنیکی شبکه های آبیاری و زهکشی. کرج، ایران.
- [۴] آرش محمد حسینی، ۱۳۹۳. بهسازی و تثبیت خاک های فروریزشی دست نخورده با استفاده از روش الکتروکینتیک به وسیله نانو سیلیکا و آهک-مطالعه موردی لس گرگان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، ایران.
- [۵] نینا ذبیحی، ۱۳۹۲. بررسی تأثیر سیمانی شدن آهکی بر رفتار خاکهای فروریزشی در دستگاه ادمتر با قابلیت کنترل مکش ساختاری مطالعه موردی لس گرگان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، ایران.



- [۶] علی محمدرجبی، لیلا کرمی، ۱۳۹۷. بررسی مقاومت فشاری تک محوری خاکهای لس تثبیت شده با سیمان (مطالعه موردی خاک لس استان گرگان)، سومین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران، تهران.
- [۷] حمیدرضا روح پرور، ۱۳۹۱. بررسی بهسازی خاکهای فروریزی با آهک در آزمایشهای تحکیم معمولی و غیراشباع مطالعه موردی لس گرگان. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، ایران.
- [۸] مصطفی زمانیان، فاطمه قهرمانی، ۱۳۹۷. اصلاح خاک فروریزی سمنان با استفاده از سیمان و آهک، کنفرانس عمران، معماری و شهرسازی کشورهای جهان اسلام، تبریز.

[۹] Ayeldeen, M., Negm, A., El-Sawwaf, M., and Kitazume, M. ۲۰۱۷., Enhancing mechanical behaviors of collapsible soil using two biopolymers." *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 9(2), 329–339.

[۱۰] Fatehi, H., Abtahi, S. M., Hashemolhosseini, H., and Hejazi, S. M. ۲۰۱۸., A novel study on using protein based biopolymers in soil strengthening. *Construction and Building Materials*, 167, 813–821.

[۱۱] Youfen Zhang, Zhiquan Zhang ۲۰۱۳., Influence factor analysis on strength of lime-fly ash loess. *Scientific Research, Engineering, China*, No. ۵, ۵۶۵–۵۶۱.

[۱۲] Zhao, Y., Zhuang, J., Wang, Y., Jia, Y., Niu, P., & Jia, K. 2019., *Improvement of loess characteristics using sodium alginate. Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 79(4), 1879–1891. doi:10.1007/s10064-019-01675.